Canadian Nuclear Safety Commission
Commission canadienne de sûreté nucléaire

REGULATORY GUIDE

Measuring Airborne Radon Progeny at Uranium Mines and Mills

G-4

June 2003

Canada

REGULATORY DOCUMENTS

The Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) operates within a legal framework that includes law and supporting regulatory documents. Law includes such legally enforceable instruments as acts, regulations, licences and orders. Regulatory documents such as policies, standards, guides, notices, procedures and information documents support and provide further information on these legally enforceable instruments. Together, law and regulatory documents form the framework for the regulatory activities of the CNSC.

The main classes of regulatory documents developed by the CNSC are:

Regulatory policy: a document that describes the philosophy, principles and fundamental factors used by the CNSC in its regulatory program.

Regulatory standard: a document that is suitable for use in compliance assessment and describes rules, characteristics or practices which the CNSC accepts as meeting the regulatory requirements.

Regulatory guide: a document that provides guidance or describes characteristics or practices that the CNSC recommends for meeting regulatory requirements or improving administrative effectiveness.

Regulatory notice: a document that provides case-specific guidance or information to alert licensees and others about significant health, safety or compliance issues that should be acted upon in a timely manner.

Regulatory procedure: a document that describes work processes that the CNSC follows to administer the regulatory requirements for which it is responsible.

Document types such as regulatory policies, standards, guides, notices and procedures do not create legally enforceable requirements. They support regulatory requirements found in regulations, licences and other legally enforceable instruments. However, where appropriate, a regulatory document may be made into a legally enforceable requirement by incorporation in a CNSC regulation, a licence or other legally enforceable instrument made pursuant to the *Nuclear Safety and Control Act*.

REGULATORY GUIDE

Measuring Airborne Radon Progeny at Uranium Mines and Mills

G-4

Published by the
Canadian Nuclear Safety Commission
June 2003

Measuring Airborne Radon Progeny at Uranium Mines and Mills
Regulatory Guide G-4

Published by the Canadian Nuclear Safety Commission

© Minister of Public Works and Government Services Canada 2003

Extracts from this document may be reproduced for individual use without permission provided the source is fully acknowledged. However, reproduction in whole or in part for purposes of resale or redistribution requires prior written permission from the Canadian Nuclear Safety Commission.

Cat. No. CC173-3/2-4E
ISBN 0-662-34396-4

Également publié en français sous le titre de
La mesure des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium.

Document availability

This document can be viewed on the Canadian Nuclear Safety Commission website (www.nuclearsafety.gc.ca). To order a print copy of the document in English or French, please contact:

Communications and Information Management Directorate
Canadian Nuclear Safety Commission
280 Slater Street
P. O. Box 1046, Station B
Ottawa, Ontario K1P 5S9
CANADA

Telephone: (613) 995-5894 or 1-800-668-5284 (Canada only)
Facsimile: (613) 992-2915
E-mail: publications@cnsc-ccsn.gc.ca

103-05786/

TABLE OF CONTENTS

1.0 PURPOSE 1

2.0 SCOPE 1

3.0 BACKGROUND 1

4.0 OVERVIEW OF METHOD 2

5.0 SELECTING EQUIPMENT 2

6.0 PREPARING FOR SAMPLING 3

7.0 SELECTING SAMPLING LOCATIONS 4

8.0 COLLECTING SAMPLES 4

9.0 COUNTING SAMPLES AND COMPUTING RESULTS 5

GLOSSARY 7

REFERENCES 8

APPENDICES

A. Using Chi-Square tests to evaluate the performance of alpha counters 9

B. A method to determine correction factors to compensate for the absorption of radon progeny on sample filters 10

C. Dependencies among radon-progeny sampling parameters, working level concentrations and the precision of alpha-counting results 11

D. Determining Kusnetz correction factors for use in calculations of radon-progeny concentrations 12

MEASURING AIRBORNE RADON PROGENY AT URANIUM MINES AND MILLS

1.0 PURPOSE

This regulatory guide is intended to help users measure and compute instantaneous concentrations of airborne radon progeny at uranium mines and mills.

2.0 SCOPE

This document describes a method that Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) inspectors use to assess concentrations of airborne radon progeny at Canadian uranium mines and mills. This method, or methods of comparable accuracy, may be used by uranium mine or mill licensees.

3.0 BACKGROUND

Radon–222 is a chemically inert element, a radioactive gaseous by-product of other naturally occurring radioactive elements. Radon gas is released into the atmosphere as a result of both natural processes and human activities. It continuously undergoes spontaneous radioactive decay. Four solid, short-lived radionuclides — polonium–218, lead–214, bismuth–214 and polonium–214 — form in sequence as radon–222 decays to create lead–210. These four short-lived products are the "radon progeny" referred to in this guide.

To protect workers and to comply with federal requirements, uranium mine and mill licensees monitor and record the exposure of their workers to radiation hazards, including radon progeny. Uranium mines and mills also monitor concentrations of radon and its progeny in support of engineering design and workplace planning.

Alpha, beta and gamma radiation are emitted during the decay of radon gas to create lead–210. Of these forms of radiation, alpha particles typically pose the most significant radiation hazard to workers because, over time, the inhalation of air containing elevated concentrations of alpha-emitting radon progeny may increase the incidence of lung cancers in humans.

Under natural conditions, radon gas and its progeny are typically encountered in relatively low concentrations. However, higher concentrations can occur under special conditions, including those associated with uranium mining and processing activities.

Although all uranium mines and mills encounter radon and its progeny during their operations, the significance of these elements as potential radiation hazards in a specific situation will depend upon case-specific factors. Examples of such factors include source characteristics, geologic and climatic factors, production technology and methods, plant and mechanical designs, air-exchange rates, work processes, and personnel protection provisions.

With or without special control measures, radon and radon-progeny concentrations in uranium mine or mill workplaces can vary significantly over time and space. Typically, uranium mines and mills maintain radon and radon-progeny concentrations at safe levels by ensuring that their workplaces are adequately ventilated. This may involve exhausting air that contains significantly elevated concentrations of radon and its progeny, or introducing outside air that contains lower or background concentrations of radiation.

4.0 OVERVIEW OF METHOD

Uranium mines and mills in Canada use various methods to determine instantaneous concentrations of airborne radon progeny (References 2, 5, 9, 10, 11, 12). The sample collection, counting and computational procedures that are used by CNSC inspectors rely on the modified Kusnetz method.

To accurately measure the airborne radon progeny in a specific atmosphere, one must first sample, on either an instantaneous basis or a continuous basis, a representative volume of air. Instantaneous samples are, typically, those collected over short, discrete intervals of a few minutes. Continuous samples are those collected over much longer time intervals, typically hours or days.

The measurement approach described in this guide involves:

- filtering a representative volume of air to collect a sample of airborne radon progeny;
- measuring the alpha emissions that occur during radioactive decay of the collected progeny; and
- using observed, measured and known data, and established formulae, to estimate the atmospheric concentration of radon progeny at the time of sampling.

Initially, a sample of airborne radon progeny is collected by using a portable air pump to draw air through a low-porosity filter. The radon progeny that are present in the air attach to the inlet face of the filter used. These progeny subsequently decay, emitting alpha particles and other forms of radiation in the process. During this decay, the emissions of-alpha particles are detected and counted, using an instrument (an alpha counter) designed and manufactured for that purpose.

The counting results obtained are then used along with other pertinent data and observations to estimate the concentration, in units called working levels (WLs) of airborne radon progeny originally present in the air sampled. A working level "means the concentration of radon progeny in 1 m^3 of air that has a potential alpha energy of 2.08×10^{-5} J" [*Radiation Protection Regulations*, subsection 1(1)]. The formula for estimating the concentration of radon progeny in a sample of air, in working levels, is provided in subsection 9(e) of this guide.

The concentration of radon progeny, expressed in working levels, is calculated from a formula that mathematically relates alpha disintegrations per working level over the interval between the end of sampling and the middle of alpha counting, the volume of air sampled, the alpha activity of collected and resultant radon progeny, the efficiency and radioactive background of the alpha counter, and the absorption characteristics of the filter used during sampling.

5.0 SELECTING EQUIPMENT

The equipment and supplies typically required to determine radon-progeny concentrations in accordance with the method described in section 4 include:

- a portable, battery-powered, constant-flow air pump rated at 0.001-5 L/min;
- hoses and fittings of 0.25 in (6.35 mm) inside diameter for use with the air pump;
- cellulose-ester or glass-fibre filters of 0.8 micron porosity and 25 mm diameter;
- open-faced filter holders suitable for use with the pump, lines and filters selected;
- a bubble tube, or a flow meter that is accurate to within ±5%;

- an alpha counter comprised of a radiation detector[1] and related electronics;
- an americium–241 calibration source[2] that is certified accurate to within ±5% and mounted on a stainless steel disc of area equal to that of the filter paper to be used for sampling;
- an accurate timing device, such as a stop watch or digital wrist watch;
- tweezers;
- a battery-powered calculator;
- recording supplies, such as a log or record book, pencils and pens.

6.0 PREPARING FOR SAMPLING

To prepare for sample collection and analysis, follow the steps below:

(a) Assemble the equipment and supplies listed in section 5 of this guide.

(b) Perform the following checks on the sample pump:
- Check the pump battery to verify that it is charged.
- Using the flow meter or bubble tube, measure the rate of air flow through the assembly — air pump, hose and filter holder containing an unexposed filter — that is to be used to collect samples of radon progeny. A constant flow rate of approximately 2 L/min is recommended. Follow the manufacturers' instructions provided with the flow meter, bubble tube and air pump. Note the reading registered on the flow-rate indicator of the air pump. If the flow rate measured by the calibrated flow meter or bubble tube is different than the air pump reading, adjust the calibration of the pump following the manufacturer's instructions. Record the equipment number or other identifying characteristics of the air pump, the date and details of its calibration, and its measured flow rate in litres per minutes, as F.

(c) Perform the following checks on the alpha counter, immediately before and after daily use:
- Perform any relevant checks of the alpha counter recommended by the manufacturer. Include a battery check.
- Determine the alpha counter background by measuring the alpha activity of an unexposed filter. If the measured activity exceeds 5 counts per minute (CPM), suspend use of the equipment until it has been cleaned or repaired. Record the background count rate.
- Determine if the alpha counter is performing consistently by conducting a Chi-Square test on a set of 10 successive measurements, following the method described in Appendix A of this guide. Compare the variability of the 10 successive measurements against the variability to be expected as a feature of radioactive decay. If the counter repeatedly fails the Chi-Square test, discontinue its use until it has been satisfactorily repaired.
- Determine the efficiency, E, of the alpha counter by dividing the mean (in CPM of alpha activity) of the results of the 10 one-minute measurements that were conducted for the Chi-Square test, by the nominal activity (in DPM of alpha activity) of the Am–241 source used for the 10 measurements. If the alpha counter has a zinc-sulphide radiation detector, the calculated efficiency, E, of the counter should lie between 0.35 and 0.50. Within this range, the calculated efficiency of the counter, using the same Am–241

[1] A scintillation detector that uses zinc sulphide as the phosphor is recommended.
[2] Am-241 is recommended as a suitable calibration source because the energy emitted by its alpha particle (5.5 MeV) is similar to the energies emitted by radon progeny (5.5 - 7.7 MeV).

source, should not vary significantly from one day to the next, if the counter is operating satisfactorily. For example, a difference of 0.02 (approximately 1 standard deviation) or so in the calculated efficiencies of the counter over successive days is considered acceptable. However, if the calculated efficiency of the counter is outside of the recommended range (0.35 to 0.50), or if it drops suddenly, discontinue using the counter until it has been satisfactorily repaired.

- When counting radon-progeny samples of high concentration, or when counting radon-progeny samples that have been collected under dusty conditions, check the background of the alpha counter more frequently to determine whether it is becoming contaminated.

7.0 SELECTING SAMPLING LOCATIONS

Select air-sampling locations that accurately reflect the conditions to be assessed. Avoid non-representative or adverse sampling conditions such as areas of turbulent air flow — duct exhausts, junctures or intersections of ventilation passageways, door or window openings.

When collecting radon-progeny samples for purposes of estimating or confirming radiation doses to workers, sample the actual atmospheres breathed by the respective workers. Where possible, sample at the individuals' workstations over a representative period. Alternatively, if concentrations of airborne radon progeny are similar over a large area, it may suffice to collect representative samples while moving through the area, or at appropriate points within the area. The latter approach may be particularly appropriate within uranium processing plants and in travelways and/or similar areas of mines.

Samples that are intended to aid in the planning, development and evaluation of engineering works and production processes must be representative of the conditions that they are intended to assess. Accordingly, these samples should be collected at appropriate locations and times. For example, to determine the impact of modifications to mine or building ventilation systems, or to guide the installation of such systems, it may be necessary to collect several air samples at multiple locations, before, after or during the changes.

8.0 COLLECTING SAMPLES

(a) Record the previously determined flow rate, F, of the air pump in litres per minutes; as well as the previously determined efficiency factor, E, and the previously determined background, in CPM, of the counter that is to be used to detect and record alpha emissions.

(b) Assemble the sampling equipment in the correct configuration for use. Mount an unexposed filter in the filter holder, handling the filter by its edge without touching either face. Connect this filter holder securely to the inlet hose of the air pump.

(c) Record the sampling location, the date and the identification number of the holder that contains the filter paper to be used to collect the sample.

(d) If a significant quantity of airborne particulate or moisture is likely to be present during sampling, ensure that the inlet of the sample filter holder faces slightly downwards in preparation for sampling. Maintain this position during sampling to help prevent dust or moisture from depositing on the inlet face of the sample filter, and possibly clogging or damaging it.

(e) Start the air pump and timing device. Record the time of day at the beginning of air sampling. Try to collect the air sample over a timed interval of exactly 5 minutes. If you operate the air pump for more than a 5-minute-and-3-second sampling interval, extend the sample collection and pump operating time to 6 minutes. Observe the flow rate, F, during sampling and suspend air sampling if the pump flow rate decreases by 20% or more. Periodically check the sampling equipment to ensure that the filter is not blocked or clogged, and that the pump hoses remain connected and free of constrictions or obstructions. Record the time of day when air sampling is completed. Record the actual duration of the sampling interval in minutes as t_s.

(f) Once collection of a sample of airborne radon progeny has been completed, turn off the pump and detach the filter holder that contains the exposed filter. Securely store the exposed filter assembly in a protective container. Do not touch or disturb the face of the exposed filter during handling. If filter holders containing unexposed filters and filter holders containing exposed filters are to be stored in the same container, place the assemblies containing unexposed filters in the case with their inlet faces up. After sampling, return the filter holder assemblies to the carrying case with their exposed (inlet) faces down.

(g) Repeat steps (a) to (f) to collect additional samples.

9.0 COUNTING SAMPLES AND COMPUTING RESULTS

To determine the concentrations of radon progeny present in sampled air, count the alpha emissions from the exposed filters and compute the results, in accordance with the following steps:

(a) Transfer the exposed filter from its holder to the fixed or removable sample holder of the alpha counter. Handle the filter by its edge, using tweezers. Ensure that the exposed surface of the filter faces the scintillant of the counter. This step should be performed as quickly as possible to ensure that the counter's photo-multiplier tube is not exposed to any more light than necessary.

(b) Initiate and complete the counting of alpha emissions from the exposed filter within strict time limits. Begin this counting not less than 40 minutes after the end of sampling, and ensure that the midpoint of the selected counting interval is reached not later than 90 minutes after collection of the sample.
Select an appropriate duration for the counting interval. The counting interval is the length of time over which the alpha emissions from an exposed filter are to be measured.
Although 5-minute counting intervals are typical, the selection of an appropriate interval may require that special case-specific considerations be taken into account. These considerations could include the concentration of radon progeny likely to be present in the air sampled, the volume of air sampled, and the counting precision desired. To select appropriate counting intervals, consult Appendix C, "Dependencies among radon-progeny sampling parameters, working level concentrations and the precision of alpha-counting results", which illustrates key relationships.
Operate the counter in accordance with the manufacturer's instructions. Observe and record the time of day at the start and end of the alpha-counting interval.

(c) Note and record the alpha-counting interval in minutes as t_c and the net number of counts — total number of counts minus the number of counts due to instrument background —

obtained during this interval as C. Calculate the elapsed time from the completion of air sampling to the midpoint of the selected alpha-counting interval for the active filter, and record it as t_k.

(d) Use Appendix D or other references to determine the Kusnetz factor, K, that corresponds to t_k or calculate K from the appropriate equation of the following set:

$$K = 230 - 2t_k \text{ when } 40 \le t_k \le 70$$

or

$$K = 195 - 1.5t_k \text{ when } 70 \le t_k \le 90$$

(h) Calculate the concentration of airborne radon progeny at the time of sample collection using the following equation:

$$WL = \frac{C(1+S)}{Ft_s t_c KE}$$

where:

WL is the concentration in working levels;
C is the total number of alpha counts recorded over the interval of t_c minutes, minus the background alpha counts over interval t_c;
S is any correction factor, as per Appendix B, that is necessary in order to compensate for the absorption of radon progeny on the sample filter;
F is the air sampling flow rate in litres per minute;
t_s is the air sampling interval in minutes;
t_c is the interval, in minutes, over which alpha emissions from the sample are counted;
K is the Kusnetz factor in disintegrations per minute per litre of air per working level; and
E is the efficiency factor of the alpha counter.

GLOSSARY

alpha counter
An instrument designed and manufactured for the purpose of detecting and counting alpha particle emissions.

binomial distribution
A frequency distribution of the possible number of successful outcomes in a given number of trials in each of which there is the same probability of success.

Chi-Square test (χ^2)
Described in Appendix A; an operational check of the counting equipment.

modified Kusnetz method
A method of determining and expressing atmospheric concentrations of radon progeny in terms of latent alpha energy; requires the use of an alpha counter equipped with an electronic scaler to measure the emission of alpha particles.

Poisson distribution
A discrete frequency distribution which gives the probability of events occurring in a fixed time; named after French mathematician, S.D. Poisson.

radon progeny
For purposes of this guide, four solid, short-lived radionuclides — polonium-218, lead-214, bismuth-214 and polonium-214, which form in sequence as radon-222 decays to create lead-210.

working level (WL)
The concentration of radon progeny in 1 m^3 of air that has a potential alpha energy of 2.08×10^{-5} J.

REFERENCES

1. Beckman, R.T. "Calibration Procedures for Radon and Radon Daughter Measurement Equipment." U.S. Department of the Interior, Informational Report 1005, Washington, DC: 1975.

2. American National Standards Institute Inc. "Radiation Protection in Uranium Mines." N13.8, New York: 1973.

3. "Code of Practice on Radiation Protection in the Mining and Milling of Uranium Ores." Commonwealth Department of Health, Canberra, Australia: 1975.

4. Knoll, Glenn F. *Radiation Detection and Measurement.* New York: John Wiley and Sons, 1989.

5. Kusnetz, H.L. "Radon Daughters in Mine Atmospheres — A Field Method for Determining Concentrations." *Industrial Hygiene Quarterly* (March 1956). Alexandria, VA: p. 85.

6. National Council on Radiation Protection and Measurements,"Measurement of Radon and Radon Daughters in Air." *NCRP Report* No. 97. Bethesda, MD: November 15, 1988.

7. Nuclear Energy Agency Organization for Economic Cooperation and Development. "Metrology and Monitoring of Radon, Thoron and their Daughter Products" Paris: 1985.

8. International Atomic Energy Agency. "Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores" *International Atomic Energy Agency Safety Series No. 95.* Vienna: 1989.

9. Rolle, R. "Improved Radon Daughter Monitoring Procedure." *American Industrial Hygiene Association Journal* (March/April 1969). Alexandria, VA: American Industrial Hygiene Association, p. 153.

10. Rolle, R. "Rapid Working Level Monitoring." *Health Physics,* Vol. 22 (March 1972). New York: Pergamon Press, p. 233.

11. Rolle, R. "Determination of Radon Daughters on Filters by Simple Liquid Scintillation Technique." *American Industrial Hygiene Association Journal* (November/December 1970). Alexandria, VA: American Industrial Hygiene Association, p. 718.

12. Thomas, J.W. "Modification of the Tsivoglou Method for Radon Daughters in Air." *Health Physics*, Vol. 19 (November 1970). New York: Pergamon Press, p. 691.

13. International Atomic Energy Agency, "Manual on Radiological Safety in Uranium and Thorium Mines and Mills." *International Atomic Energy Agency Safety Series No. 43.* Vienna: 1976.

14. Rock, R.L., R.W. Dalzell and E.J. Harris. "Controlling Employee Exposure to Alpha Radiation in Underground Uranium Mines." Washington, DC: *U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines,* Vol. 2, 1971.

15. Loysen, P. "Errors in Measurement of Working Level." *Health Physics*, Vol. 16 (May 1969). New York: Pergamon Press, p. 629.

16. McGeath, J.D. *How to Use Statistics*. San Francisco: Canfield Press, 1975.

APPENDIX A
Using Chi-Square tests to evaluate the performance of alpha counters

Background

For the long-lived standards that are typically used to test whether alpha counters are operating correctly, the number of transformations that occur is quite small relative to the number of radioactive atoms that are present in the standard.

Statistically, when the probability of an event, such as radioactive decay by alpha emission of a long-lived standard that is used to test alpha counter operation, is quite small (very much less than 1), the binomial distribution approaches the Poisson distribution.

By taking a series of counts of the number of alpha emissions from a radioactive standard, one can compare the variation in counting results to that predicted for situations where the probability over time behaves similarly to what would be predicted by a Poisson distribution.

In the application described below, the Chi-Square test is a method that compares the variability of "successive counts" obtained with an alpha counter to the variability in alpha counts that is predicted by a Poisson distribution. The object of the comparison is to identify any inconsistencies in the respective variability that would not be consistent with the random nature of radioactive decay. If the results obtained with a counter for a series of counts from a given radioactive sample (under controlled conditions) are too consistent (demonstrate little variability), then it is likely that the counter is not performing properly. Similarly, if the observed variability in results is excessive, then the counter system is also likely to be performing incorrectly.

Method

To check the performance of an electronic counter with the Chi-Square test, do the following:

(a) Using the counter to be tested, count the alpha activity of an americium–241 source of known decay rate. Make 10 separate counts, each of one-minute duration. Note and record the total number of counts for each of the 10 measurements.

(b) To calculate the Chi-Square for the above:
- Sum the squares of the differences between the observed count rates for the individual one-minute measurement intervals and the mean count rate over the total (10-minute) measurement period.
- Divide the sum obtained above by the mean count rate over the 10-minute period. The result is the Chi-Square value for the situation tested.

Thus, the Chi-Square value for a given situation can be calculated according to the formula:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2}{\overline{X}}$$

(c) If $3.33 \leq \chi^2 \leq 16.92$, the results of the Chi-Square test are consistent with a counter that is performing well.

(d) If $\chi^2 < 3.33$ or $\chi^2 > 16.92$, repeat the Chi-Square test. If the Chi-Square results obtained are repeatedly outside these bounds remove the counter from service until it has been repaired.

APPENDIX B
A method to determine correction factors to compensate for the absorption of radon progeny on sample filters

To compensate for errors due to the absorption of alpha particles by glass-fibre or cellulose-ester filters, an appropriate correction factor must be applied during the associated calculations of radon-progeny concentrations. To determine this correction factor:

(a) Collect a sample of radon progeny; allow the sample to decay for at least 40 minutes, but not more than 90 minutes.

(b) Measure the alpha activity in CPM from the face of the sample filter; record this reading as *A*. Note the time of day.

(c) Measure the alpha activity in CPM from the back of the sample filter and record this reading as *B*. Note the time of day.

(d) With a duplicate, unused filter placed over the face of the sample filter as an absorber, measure the alpha activity in CPM and record this reading as *C*. Note the time of day.

(e) Repeat step (b) to get a repeat reading *D* and note the time of day.

(f) If D < 0.9A, repeat step (c) to obtain another reading *E*, and note the time of day.

(g) Use readings *A* and *D* to estimate a reading *F* at the time at which *C* was observed. Use readings *B* and E to estimate *G* at the time at which *C* was observed.

(h) Calculate the correction factor for absorption on the filter, *S*, using one of the following formulas:

$$S = \frac{B - C}{2A + B - C}$$

or

$$S = \frac{G - C}{2F + G + C}$$

For a cellulose-ester filter, *S* will probably be less than 0.02. For a glass-fibre filter, *S* may exceed 0.10.

APPENDIX C

Dependencies among radon-progeny sampling parameters, working level concentrations and the precision of alpha-counting results

The computed entries in the table below are calculated for t_k = 65 minutes, where t_k is the time interval, in minutes, between the end of sampling and the mid-point of the sample-counting interval. For other values of t_k, the data will be commensurately different.

Expected concentration of radon progeny in working levels	Flow rate in litres per minute	Sample volume in litres	Measurement interval in minutes for an alpha-counting precision of:		
			±2%	±5%	±10%
0.05	2	10	150	30	6
	5	25	60	10	4
	10	50	30	6	2
0.10	2	10	80	20	4
	5	25	30	6	2
	10	50	20	4	1
0.20	2	10	40	6	2
	5	25	20	4	1
	10	50	10	2	1
0.40	2	10	20	4	1
	5	25	10	2	1
	10	50	4	1	1
0.80	2	10	10	2	1
	5	25	4	1	1
	10	50	2	1	1

Note:
This chart illustrates the typical relationships among radon-progeny sampling parameters such as the concentrations of radon progeny in the air that has been sampled, the sample flow rates and volumes, the filter count times and precision of results. For example, the length of the counting intervals that are necessary to attain results of similar precision are inversely proportional to the volumes of air sampled and the concentrations of radon progeny in the air sampled. For samples of greater volume but similar concentration, shorter alpha-counting times will suffice to attain results of comparable precision. To shorten the necessary counting times for filters exposed to low concentrations of radon progeny, use pumps of greater capacity to sample larger volumes of air over the specified sampling interval. Or, when smaller samples of air with lower concentrations of radon progeny are collected, increase the precision of the results by adopting longer counting intervals. When concentrations of radon progeny are 0.05 WL or less, counting intervals that result in a precision of ±10% are adequate. Consult references 1 and 2 to determine appropriate flow rates for air sampling and effective sample-counting intervals.

APPENDIX D
Determining Kusnetz correction factors for use in calculations of radon-progeny concentrations

Delay time in minutes	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Kusnetz correction factor	150	148	146	144	142	140	138	136	134	132

Delay time in minutes	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Kusnetz correction factor	130	128	126	124	122	120	118	116	114	112

Delay time in minutes	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Kusnetz correction factor	110	108	106	104	102	100	98	96	94	92

Delay time in minutes	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Kusnetz correction factor	90	88.5	87	85.5	84	82.5	81	79.5	78	76.5

Delay time in minutes	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Kusnetz correction factor	75	73.5	72	70.5	69	67.5	66	64.5	63	61.5	60

Note :
Kusnetz correction factors may be determined from the above tables or by calculations.

Using the tables above

For the given delay period (i.e., the time, in minutes, from the end of sampling to the middle of counting), select the Kusnetz correction factor that appears in the same column, directly under the delay time in minutes.

For example:

- For a delay time of 60 minutes, the corresponding Kusnetz correction factor is 110.
- For a delay time of 68 minutes, the Kusnetz correction factor is 94.

To calculate Kusnetz correction factors

Calculate the appropriate Kusnetz correction factor by solving the applicable equation of the following set:

$$K = 230 - 2t_k \text{ when } 40 \leq t_k \leq 70$$

or

$$K = 195 - 1.5t_k \text{ when } 70 \leq t_k \leq 90$$

where t_k is the time interval, in minutes, between the end of sampling and the mid-point of the sample-counting interval.

Commission canadienne de sûreté nucléaire
Canadian Nuclear Safety Commission

GUIDE D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

La mesure des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium

G-4

Juin 2003

Canada

DOCUMENTS D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) fonctionne à l'intérieur d'un cadre juridique constitué de la législation et, à l'appui, de documents d'application de la réglementation. Le terme « législation » renvoie à différents instruments légaux exécutoires : des lois, des règlements, des permis et des ordres. Quant aux documents d'application de la réglementation – des politiques, des normes, des guides, des avis, des procédures et des documents d'information –, ils soutiennent et expliquent davantage ces instruments. Les activités de réglementation de la CCSN reposent sur ces instruments et ces documents.

Les documents d'application de la réglementation de la CCSN relèvent des principales classes suivantes :

Politique d'application de la réglementation : un document qui décrit la doctrine, les principes et les facteurs fondamentaux utilisés par la CCSN dans son programme de réglementation.

Norme d'application de la réglementation : un document qui peut servir à une évaluation de conformité et qui décrit les règles, les caractéristiques ou les pratiques que la CCSN accepte comme conformes aux exigences réglementaires.

Guide d'application de la réglementation : un document qui sert de guide ou qui décrit des caractéristiques ou des pratiques recommandées par la CCSN et qui, d'après elle, permettent de respecter les exigences réglementaires ou d'améliorer l'efficacité administrative.

Avis d'application de la réglementation : un document qui contient des conseils et des renseignements propres à un cas donné et qui sert à alerter les titulaires de permis et d'autres personnes à propos d'importantes questions de santé, de sûreté ou de conformité auxquelles il faut donner suite en temps utile.

Procédure d'application de la réglementation : un document qui décrit les modalités de travail qu'utilise la CCSN pour administrer les exigences réglementaires dont elle est responsable.

Les politiques, normes, guides, avis et procédures d'application de la réglementation ne créent pas d'exigences exécutoires; ils servent plutôt à étayer les exigences réglementaires énoncées dans les permis, dans les règlements et dans les autres instruments exécutoires. Néanmoins, le cas échéant, un document d'application de la réglementation peut être transformé en instrument exécutoire par son incorporation dans un permis ou un règlement de la CCSN, ou encore dans un autre instrument exécutoire établi en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*.

GUIDE D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

La mesure des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium

G-4

Publié par la
Commission canadienne de sûreté nucléaire
Juin 2003

La mesure des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium.
Guide d'application de la réglementation G-4

Publié par la Commission canadienne de sûreté nucléaire

© Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 2003

La reproduction d'extraits du présent document à des fins personnelles est autorisée à condition d'en indiquer la source en entier. Toutefois, sa reproduction en tout ou en partie à des fins commerciales ou de redistribution nécessite l'obtention préalable d'une autorisation écrite de la Commission canadienne de sûreté nucléaire.

N° de cat. CC173-3/2-4F
ISBN 0-662-89231-3

Also published in English as
Measuring Airborne Radon Progeny at Uranium Mines and Mills.

Disponibilité du présent document

Les personnes intéressées pourront consulter le présent document sur le site Web de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (www.suretenucleaire.gc.ca) ou en commander des exemplaires, en français ou en anglais, en communiquant avec la :

Direction des communications et de la gestion de l'information
Commission canadienne de sûreté nucléaire
280, rue Slater
Case postale 1046, Succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
CANADA

Téléphone : (613) 995-5894 ou 1 800 668-5284 (au Canada)
Télécopieur : (613) 992-2915
Courriel : publications@cnsc-ccsn.gc.ca

TABLE DES MATIÈRES

1.0 OBJET 1

2.0 PORTÉE 1

3.0 CONTEXTE 1

4.0 APERÇU DE LA MÉTHODE 2

5.0 CHOIX DU MATÉRIEL 3

6.0 PRÉPARATIFS EN VUE DE L'ÉCHANTILLONNAGE 3

7.0 CHOIX DES ENDROITS POUR L'ÉCHANTILLONNAGE 5

8.0 COLLECTE DES ÉCHANTILLONS 5

9.0 COMPTAGE DES ÉCHANTILLONS ET CALCUL DES RÉSULTATS 6

GLOSSAIRE 8

OUVRAGES DE RÉFÉRENCE 9

ANNEXES

A. Utilisation du test du chi carré pour évaluer le rendement du compteur de particules alpha 10

B. Méthode servant à déterminer les facteurs de correction pour compenser l'absorption de produits de filiation du radon par le filtre d'échantillonnage 12

C. Dépendances entre les paramètres d'échantillonnage des produits de filiation du radon, la concentration d'unités alpha et la précision des résultats du comptage alpha 13

D. Détermination des facteurs de correction de Kusnetz à employer dans le calcul de la concentration des produits de filiation du radon 14

LA MESURE DES PRODUITS DE FILIATION DU RADON EN SUSPENSION DANS L'AIR DANS LES MINES D'URANIUM ET LES USINES DE CONCENTRATION D'URANIUM

1.0 OBJET

Le présent guide d'application de la réglementation a pour but d'aider les utilisateurs à mesurer et à calculer la concentration des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium.

2.0 PORTÉE

Le présent guide décrit une méthode qu'utilisent les inspecteurs de la Commission canadienne de la sûreté nucléaire (CCSN) pour évaluer la concentration des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium au Canada. Le titulaire d'un permis visant l'exploitation d'une mine d'uranium ou d'une usine de concentration d'uranium peut avoir recours à cette méthode ou à d'autres méthodes comparables quant à leur exactitude.

3.0 CONTEXTE

Élément chimiquement inerte, le radon 222 est un sous-produit gazeux radioactif d'autres éléments radioactifs présents dans la nature. Le radon gazeux, qui est rejeté dans l'atmosphère par suite de processus naturels ou de l'activité humaine, subit constamment des désintégrations radioactives spontanées. Quatre radionucléides solides à courte période — le polonium 218, le plomb 214, le bismuth 214 et le polonium 214 — se forment dans le cours de la désintégration du radon 222 en plomb 210. Ces quatre produits à courte période, qui font l'objet du présent guide, sont connus sous le nom de « produits de filiation du radon ».

Pour protéger les travailleurs et se conformer aux exigences fédérales, le titulaire d'un permis visant l'exploitation d'une mine d'uranium ou d'une usine de concentration d'uranium surveille et enregistre le niveau d'exposition des travailleurs aux dangers d'irradiation, y compris à ceux qui sont attribuables aux produits de filiation du radon. En outre, dans de telles mines ou usines, des contrôles de la concentration de radon et de ses produits de filiation sont effectués afin d'appuyer la conception technique et l'aménagement des lieux de travail.

Lors de sa désintégration en plomb 210, le radon gazeux émet des rayonnements alpha, bêta et gamma. De toutes ces formes de rayonnement, ce sont les particules alpha qui posent le plus grand danger pour les travailleurs : l'incidence du cancer du poumon risque en effet de s'accroître avec le temps chez les humains lorsqu'ils inhalent de l'air qui contient une concentration élevée de produits de filiation du radon émettant des particules alpha.

Dans la nature, le radon gazeux et ses produits de filiation se retrouvent habituellement en concentration relativement faible. Toutefois, dans certaines conditions particulières — dont celles qui sont associées aux activités d'extraction et de traitement de l'uranium —, ils peuvent se présenter en concentration plus élevée.

Bien que le radon et ses produits de filiation soient présents dans toutes les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium en exploitation, l'importance des dangers d'irradiation associés à leur présence varie en fonction de divers facteurs propres à chaque situation. Au nombre de ces facteurs, figurent notamment les caractéristiques de la source, les conditions géologiques et climatiques, les techniques et méthodes de production, la conception de l'installation et ses caractéristiques mécaniques, les taux d'échange d'air, les méthodes de travail et les dispositions prises pour protéger le personnel.

Que des mesures de contrôle particulières soient en place ou non, la concentration de radon et de ses produits de filiation dans les lieux de travail des mines d'uranium et des usines de concentration d'uranium peut varier considérablement suivant l'endroit et le moment considérés. Habituellement, la concentration de radon et de ses produits de filiation dans de telles installations est maintenue à un niveau sécuritaire grâce à des techniques qui permettent d'assurer une ventilation appropriée dans les lieux de travail. Tantôt, on évacue du lieu de travail l'air contenant une concentration élevée de radon et de ses produits de filiation, tantôt on y admet de l'air de l'extérieur dont la concentration de rayonnement est inférieure ou se limite au rayonnement de fond.

4.0 APERÇU DE LA MÉTHODE

Dans les mines d'uranium et les usines de concentration d'uranium au Canada, différentes méthodes sont utilisées pour déterminer la concentration des produits de filiation du radon en suspension dans l'air (références 2, 5, 9, 10, 11 et 12). Les procédures d'échantillonnage, de comptage et de calcul des inspecteurs de la CCSN sont fondées sur la méthode de Kusnetz modifiée.

Pour mesurer avec précision la concentration d'un produit de filiation du radon dans une atmosphère particulière, il convient de prélever d'abord, de façon ponctuelle ou continue, un volume d'air représentatif. Généralement, les prélèvements ponctuels s'effectuent sur un intervalle de temps court et discret, de quelques minutes, et les prélèvements continus, sur un intervalle de temps beaucoup plus long, qui se mesure en heures ou en jours.

La démarche de mesure décrite dans le présent guide comprend :

- le filtrage d'un volume d'air représentatif en vue de recueillir un échantillon de produits de filiation du radon;
- la mesure des particules alpha émises lors de la désintégration des produits de filiation du radon prélevés;
- l'utilisation des résultats d'observations et de données mesurées et connues, ainsi que de formules établies, pour évaluer la concentration atmosphérique des produits de filiation du radon au moment du prélèvement.

Initialement, un échantillon de produits de filiation du radon en suspension dans l'air est recueilli au moyen d'une pompe à prélèvement d'échantillons d'air portative munie d'un filtre à faible porosité. Les produits de filiation du radon présents dans l'air aspiré par la pompe se fixent à la surface du filtre de son tuyau d'entrée. Ces produits de filiation se désintègrent par la suite en émettant des particules alpha et d'autres formes de rayonnement. Pendant ce processus, les particules alpha émises sont détectées et comptées à l'aide d'un instrument — le compteur de particules alpha — précisément conçu et fabriqué à cette fin.

Les résultats du comptage, ainsi que d'autres données et observations pertinentes, sont alors utilisés pour évaluer la concentration (en unités alpha) des produits de filiation du radon en suspension dans l'air présents à l'origine dans l'échantillon d'air. L'unité alpha est définie comme étant la « Concentration, dans 1 m^3 d'air, des produits de filiation du radon ayant une énergie potentielle de $2{,}08 \times 10^{-5}$ J » [*Règlement sur la radioprotection*, paragraphe 1(1)].

La formule utilisée pour calculer la concentration (en unités alpha) des produits de filiation de radon est décrite à l'alinéa 9*e*) du présent guide. Cette formule établit une relation mathématique entre les désintégrations alpha par unité alpha sur l'intervalle de temps qui s'est écoulé entre la fin de l'échantillonnage et le milieu de l'intervalle de temps du comptage alpha, le volume d'air échantillonné, l'activité alpha des produits de filiation du radon recueillis et résultants, l'efficacité du compteur de particules alpha et son rayonnement de fond et les caractéristiques d'absorption du filtre utilisé pour l'échantillonnage.

5.0 CHOIX DU MATÉRIEL

Le matériel, les accessoires et les fournitures habituellement utilisés pour déterminer la concentration des produits de filiation du radon en suivant la méthode décrite dans la partie 4 du présent guide comprennent :

- une pompe à prélèvement d'échantillons d'air portative, à piles et à débit constant, offrant une plage de mesure de 0,001 à 5 L/min;
- des tuyaux souples et des raccords de 0,25 po (6,35 mm) de diamètre intérieur pour la pompe;
- des filtres en ester cellulosique ou en fibre de verre de 25 mm de diamètre, dont la porosité est de 0,8 microns;
- des porte-filtres ouverts utilisables avec la pompe, les conduites et les filtres choisis;
- un débitmètre à bulle de gaz ou autre dont la précision est de ±5 %;
- un compteur de particules alpha constitué d'un détecteur[1] de rayonnement et des composants électroniques connexes;
- une source[2] d'étalonnage d'américium 241 certifiée d'une précision de ±5 % et installée sur un disque d'acier inoxydable dont la surface correspond à celle du papier filtre devant servir pour l'échantillonnage;
- un dispositif de chronométrage précis — un chronomètre ou une montre-bracelet numérique, par exemple;
- des pinces fines;
- une calculatrice à piles;
- les fournitures nécessaires pour l'enregistrement — un registre, des crayons et des stylos.

6.0 PRÉPARATIFS EN VUE DE L'ÉCHANTILLONNAGE

En guise de préparation à la collecte et à l'analyse des échantillons, il conviendra de suivre les étapes suivantes :

a) Réunir le matériel, les accessoires et les fournitures énumérés dans la section 5 du présent guide.

---

[1] Il est recommandé d'avoir recours à un détecteur à scintillation utilisant le sulfure de zinc comme luminophore.

[2] Il est recommandé d'utiliser de l'américium 241 comme source d'étalonnage puisque l'énergie émise par ses particules alpha (5,5 MeV) est semblable à celle qu'émettent les produits de filiation du radon (de 5,5 à 7,7 MeV).

b) Soumettre la pompe à prélèvement d'échantillons d'air aux vérifications suivantes :

- Vérifier si les piles de la pompe sont chargées.
- À l'aide du débitmètre à bulle de gaz ou autre, mesurer le débit d'air admis dans l'assemblage — la pompe et le tuyau, ainsi que le porte-filtre avec un filtre non exposé — qui sera utilisé pour l'échantillonnage des produits de filiation du radon. Le débit devrait se situer de façon constante à quelque 2 L/min. Suivre les directives du fabricant pour le débitmètre et pour la pompe. Prendre une lecture de l'indicateur de débit de la pompe et l'enregistrer. Si le débitmètre et la pompe indiquent un débit différent, étalonner de nouveau la pompe en suivant les directives du fabricant Enregistrer le numéro ou d'autres éléments identificateurs de la pompe, la date et les renseignements détaillés sur son étalonnage, ainsi que le débit d'air mesuré F (en L/min).

c) Soumettre le compteur de particules alpha aux vérifications suivantes immédiatement avant et après son utilisation quotidienne :

- Effectuer les vérifications pertinentes du compteur de particules alpha recommandées par le fabricant. Vérifier si les piles sont chargées;
- Déterminer le rayonnement de fond du compteur de particules alpha en mesurant l'activité alpha, en coups par minute (CPM), d'un filtre non exposé. Si l'activité mesurée dépasse 5 CPM, cesser d'utiliser l'instrument jusqu'à ce qu'il ait été nettoyé ou réparé. Enregistrer le taux de comptage du fond naturel de rayonnement.
- Déterminer si le compteur de particules alpha fonctionne de façon cohérente en procédant à un test du chi carré pour un ensemble de 10 comptages successifs, suivant la méthode décrite à l'annexe A du présent guide. Comparer les écarts entre les résultats de ce comptage et ceux qui sont à prévoir comme caractéristique de la désintégration radioactive. Si le compteur échoue à répétition le test du chi carré, cesser de l'utiliser jusqu'à ce qu'il ait été réparé.
- Déterminer l'efficacité E du compteur de particules alpha en divisant la moyenne (en CPM d'activité alpha) des résultats des 10 comptages de 1 minute qui ont été effectués lors du test du chi carré par l'activité nominale (en DPM d'activité alpha) de la source d'américium 241 employée pour les 10 comptages. Si le compteur de particules alpha possède un détecteur au sulfure de zinc, l'efficacité calculée E du compteur devrait se situer entre 0,35 et 0,50. Si elle se situe effectivement dans cette plage, l'efficacité du compteur calculée à l'aide de la même source d'américium 241 ne devrait pas varier beaucoup d'un jour à l'autre, dans la mesure où le compteur fonctionne de façon satisfaisante. Par exemple, une différence de 0,02 environ (soit approximativement 1 écart-type) entre l'efficacité calculée du compteur lors de deux jours successifs est jugée acceptable. Quoi qu'il en soit, si l'efficacité calculée se situe en dehors de la plage de valeurs recommandée de 0,35 à 0,50, ou si elle chute rapidement, cesser d'utiliser l'instrument jusqu'à ce qu'il ait été réparé.
- Lors de la mesure d'échantillons de produits de filiation du radon à concentration élevée, ou encore d'échantillons de produits de filiation du radon ayant été prélevés dans un milieu poussiéreux, vérifier plus fréquemment le rayonnement de fond du compteur de particules alpha, afin de déterminer s'il se contamine.

7.0 CHOIX DES ENDROITS POUR L'ÉCHANTILLONNAGE

Il conviendra de choisir, pour effectuer l'échantillonnage d'air, des endroits vraiment représentatifs des conditions à évaluer, et d'éviter toute zone de turbulence — les sorties d'évacuation d'air, les emboîtures ou intersections des conduites de ventilation et les portes ou fenêtres, par exemple — ou autre qui risquerait de fausser les résultats de l'échantillonnage.

Au moment de la collecte d'échantillons de produits de filiation du radon servant à évaluer ou à confirmer les doses de rayonnement aux travailleurs, veiller à ce que l'air prélevé corresponde à celui que respirent effectivement les travailleurs considérés. Dans la mesure du possible, les échantillons devraient être prélevés aux postes de travail pertinents pendant une période représentative. Sinon, si les concentrations de produits de filiation du radon en suspension dans l'air sont semblables dans une grande zone, il sera peut-être suffisant de procéder à la collecte d'échantillons représentatifs en se déplaçant dans la zone, ou encore d'effectuer des prélèvements ponctuels dans des endroits stratégiques situés à l'intérieur de la zone. Cette dernière façon de procéder pourrait être particulièrement appropriée dans le cas des usines de traitement d'uranium, ou encore dans celui des voies d'accès ou endroits semblables des mines d'uranium.

Les échantillons destinés à la planification, à l'élaboration et à l'évaluation des travaux d'ingénierie et des procédés de production doivent être représentatifs des conditions qu'ils visent à évaluer, et donc être prélevés dans des endroits appropriés au moment opportun. Ainsi, pour déterminer l'incidence des modifications visant le système de ventilation d'une usine ou d'une mine, ou pour préparer l'installation d'un tel système, il peut être nécessaire de procéder à plusieurs collectes d'échantillons d'air dans divers endroits différents, tant avant et après l'exécution des modifications que dans le cours de telles modifications.

8.0 COLLECTE DES ÉCHANTILLONS

a) Enregistrer le débit précédemment mesuré F (en L/min) de la pompe à prélèvement d'échantillons d'air, ainsi que l'efficacité précédemment calculée E et le rayonnement de fond (en CPM) précédemment déterminé du compteur de particules alpha qui sera utilisé pour détecter et enregistrer les particules émises.

b) Réunir le matériel d'échantillonnage en le disposant selon la configuration prévue pour son utilisation. Fixer au porte-filtre un filtre non exposé, en le tenant par les bords sans toucher ses faces. Fixer solidement le porte-filtre au tuyau d'entrée de la pompe.

c) Enregistrer l'endroit où s'effectue l'échantillonnage, la date et le numéro d'identification du porte-filtre auquel est fixé le papier filtre qui sera utilisé pour l'échantillonnage.

d) Si l'échantillonnage s'effectue dans un endroit comportant une quantité importante de particules en suspension dans l'air ou dans un milieu très humide, veiller à ce que l'entrée du porte-filtre soit légèrement inclinée vers le bas et maintenir cette inclinaison pendant toute l'opération d'échantillonnage, ce qui contribuera à éviter que de la poussière ou de l'humidité ne se dépose sur la face exposée du filtre du tuyau d'entrée de la pompe, et ne le bloque ou l'endommage.

e) Mettre en marche la pompe et le dispositif de chronométrage. Enregistrer l'heure du début de l'échantillonnage. Essayer de prélever les échantillons d'air pendant un intervalle à temps

fixe d'exactement 5 minutes. Si la pompe fonctionne pendant plus de 5 minutes et 3 secondes, prolonger la durée du prélèvement et du fonctionnement de la pompe jusqu'à 6 minutes. Observer le débit d'air F durant l'échantillonnage et mettre un terme à l'opération si le débit de la pompe diminue de 20 % ou plus. Vérifier périodiquement le matériel d'échantillonnage pour veiller à ce que le filtre ne soit ni bloqué ni obstrué, et que les tuyaux de la pompe soient toujours bien raccordés et libres de toute obstruction. Enregistrer l'heure de la fin de l'échantillonnage. Enregistrer l'intervalle de temps réel t_s (en minutes) de l'échantillonnage.

f) Lorsque l'échantillonnage est terminé, arrêter la pompe et détacher le porte-filtre auquel est fixé le filtre exposé. Ranger soigneusement l'assemblage du filtre exposé dans un contenant de protection. Pendant la manipulation, ne pas toucher la face exposée du filtre et éviter de remuer le filtre lui-même. Si des porte-filtres contenant un filtre exposé doivent être rangés avec des porte-filtres comportant un filtre non exposé dans un même contenant, placer ces derniers dans le boîtier de transport en veillant à ce que la face à exposer du filtre soit orientée vers le haut. Après l'échantillonnage, remettre l'assemblage du porte-filtre dans le boîtier de transport en plaçant la face exposée (admission) vers le bas.

g) S'il y a lieu de prélever d'autres échantillons, répéter les étapes *a)* à *f)* décrites ci-dessus.

9.0 COMPTAGE DES ÉCHANTILLONS ET CALCUL DES RÉSULTATS

Pour déterminer la concentration de produits de filiation du radon dans les échantillons d'air, compter les particules alpha émises par le filtre exposé et calculer les résultats, en suivant les étapes suivantes :

a) Transférer le filtre exposé de son propre porte-filtre au porte-filtre d'échantillon, fixe ou mobile, du compteur de particules alpha. Tenir le filtre par les bords, en utilisant des pinces fines. Veiller à ce que la face exposée du filtre se trouve du côté scintillant du compteur, en procédant le plus rapidement possible pour faire en sorte que le photomultiplicateur du compteur ne soit pas exposé plus que nécessaire à la lumière.

b) Amorcer et achever le comptage alpha du filtre exposé à l'intérieur de limites de temps bien définies. Commencer le comptage dans un délai n'excédant pas 40 minutes après la fin de l'échantillonnage, et veiller à ce que le milieu de l'intervalle de temps du comptage choisi soit atteint au plus tard 90 minutes après la fin du prélèvement de l'échantillon.
Déterminer un intervalle de temps de comptage approprié. Cet intervalle correspond au temps pendant lequel les particules alpha émises par le filtre exposé seront mesurées.
Cet intervalle est d'une durée de 5 minutes habituellement, mais des facteurs propres au cas considéré — la concentration anticipée des produits de filiation du radon présents dans l'air échantillonné, le volume d'air échantillonné et la précision des résultats du comptage souhaitée notamment — peuvent commander le choix d'un intervalle plus approprié. Pour ce faire, consulter l'annexe C, intitulée « Dépendances entre les paramètres d'échantillonnage des produits de filiation du radon, la concentration d'unités alpha et la précision des résultats du comptage alpha », qui fait état d'un certain nombre de rapports clés.
Faire fonctionner le compteur en suivant les directives du fabricant. Observer et enregistrer l'heure du début et de la fin du comptage alpha.

c) Observer et enregistrer l'intervalle de temps *tc* (en minutes) du comptage alpha et le nombre net de coups *C* enregistrés par le compteur de particules alpha pendant cet intervalle — soit le nombre total de coups moins le nombre de coups imputable au rayonnement de fond du compteur pendant cet intervalle. Calculer et enregistrer l'intervalle de temps *tk* (en minutes) qui s'est écoulé entre la fin de l'échantillonnage et le milieu de l'intervalle de temps du comptage alpha.

d) Consulter l'annexe D ou d'autres références pour déterminer le facteur de correction de Kusnetz *K* correspondant à *tk*, ou le calculer en ayant recours à l'une ou l'autre des équations suivantes :

$$K = 230 - 2t_k, \text{ si } 40 \leq t_k \leq 70$$

ou

$$K = 195 - 1{,}5t_k, \text{ si } 70 \leq t_k \leq 90$$

e) Calculer la concentration de produits de filiation du radon en suspension dans l'air au moment de la collecte des échantillons à l'aide de l'équation suivante :

$$WL = \frac{C(1+S)}{Ft_s t_c KE}$$

où :

WL est la concentration d'unités alpha;
C est le nombre net de coups enregistrés par le compteur de particules alpha pendant l'intervalle de temps t_c (en minutes), soit le nombre total de coups moins le nombre de coups imputable au rayonnement de fond du compteur pendant cet intervalle;
S est le facteur de correction, selon l'annexe B, nécessaire pour compenser l'absorption de produits de filiation du radon par le filtre d'échantillonnage;
F est le débit d'air (en L/min) lors de l'échantillonnage;
t_s est l'intervalle de temps (en minutes) de l'échantillonnage d'air;
t_c est l'intervalle de temps (en minutes) du comptage alpha;
K est le facteur de correction de Kusnetz (en désintégrations par minute par litre par unité alpha);
E est l'efficacité calculée du compteur de particules alpha.

GLOSSAIRE

compteur de particules alpha
Instrument conçu et fabriqué pour détecter et compter les particules alpha émises.

distribution binomiale
Distribution de la fréquence possible de succès d'un événement pour un nombre donné d'essais comportant la même probabilité de réussite.

distribution de Poisson
Distribution discrète de la fréquence probable de succès d'un événement pendant un intervalle de temps fixe, et ainsi baptisée suivant le nom du mathématicien français S. D. Poisson.

méthode de Kusnetz modifiée
Méthode retenue pour déterminer et exprimer, en énergie alpha latent, la concentration atmosphérique des produits de filiation du radon. Exige l'utilisation d'un compteur muni d'une échelle de comptage électronique des particules alpha émises.

produits de filiation du radon
Aux fins du présent guide, les quatre radionucléides solides à courte période — le polonium 218, le plomb 214, le bismuth 214 et le polonium 214 — qui se forment dans le cours de la désintégration du radon 222 en plomb 210.

test du chi carré
Méthode, décrite à l'annexe A, utilisée pour évaluer le rendement du compteur de particules alpha.

unités alpha
Concentration, dans 1 m^3 d'air, des produits de filiation du radon ayant une énergie potentielle de $2{,}08 \times 10^{-5}$ J.

OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

1. Beckman, R. T., *Calibration Procedures for Radon and Radon Daughter Measurement Equipment, « U.S. Department of the Interior, Informational Report 1005 »*, Washington (D. C.), 1975.

2. American National Standards Institute Inc., *Radiation Protection in Uranium Mines*, N13.8, New York, 1973.

3. *Code of Practice on Radiation Protection in the Mining and Milling of Uranium Ores*, Commonwealth Department of Health, Canberra, Australie, 1975.

4. Knoll, Glenn F., *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley and Sons, New York, 1989.

5. Kusnetz, H. L. « Radon Daughters in Mine Atmospheres — A Field Method for Determining Concentrations », *Industrial Hygiene Quarterly*, mars 1956, Alexandria (Virginie), p. 85.

6. National Council on Radiation Protection and Measurements, *Measurement of Radon and Radon Daughters in Air, « NCRP Report*, n° 97 », 15 novembre 1988, Bethesda (Maryland).

7. Agence pour l'énergie nucléaire, Organisation de coopération et de développement économiques, *Metrology and Monitoring of Radon, Thoron and their Daughter Products*, Paris, 1985.

8. Agence internationale de l'énergie atomique, *Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores, « Safety Series*, n 95 », Vienne, 1989.

9. Rolle, R., « Improved Radon Daughter Monitoring Procedure », *American Industrial Hygiene Association Journal*, mars-avril 1969, American Industrial Hygiene Association, Alexandria (Virginie), p. 153.

10. Rolle, R., « Rapid Working Level Monitoring », *Health Physics*, vol. 22 (mars 1972), Pergamon Press, New York, p. 233.

11. Rolle, R., « Determination of Radon Daughters on Filters by Simple Liquid Scintillation Technique », *American Industrial Hygiene Association Journal*, novembre-décembre 1970, American Industrial Hygiene Association, Alexandria (Virginie), p. 718.

12. Thomas, J. W., « Modification of the Tsivoglou Method for Radon Daughters in Air », *Health Physics*, vol. 19 (novembre 1970), Pergamon Press, New York, p. 691.

13. Agence internationale de l'énergie atomique, *Manual on Radiological Safety in Uranium and Thorium Mines and Mills, « Safety Series*, n° 43 », Vienne, 1976.

14. Rock, R. L., R. W. Dalzell et E. J. Harris, *Controlling Employee Exposure to Alpha Radiation in Underground Uranium Mines*, vol. 2, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Washington (D. C.), 1971.

15. Loysen, P., « Errors in Measurement of Working Level », *Health Physics*, vol. 16 (mai 1969), Pergamon Press, New York, p. 629.

16. McGeath, J. D., *How to Use Statistics*, Canfield Press, San Francisco, 1975.

ANNEXE A
Utilisation du test du chi carré pour évaluer le rendement du compteur de particules alpha

Contexte

Dans le cas des sources étalons à longue période qui sont habituellement utilisées pour vérifier si un compteur de particules alpha fonctionne correctement, le nombre de transformations qui surviennent est plutôt faible comparativement au nombre d'atomes radioactifs présents dans ces sources étalons.

Statistiquement, lorsque la probabilité que se produise un événement — la désintégration radioactive par émission de particules alpha de la source étalon à longue période utilisée pour vérifier le fonctionnement du compteur de particules alpha, par exemple — est très faible (de beaucoup inférieure à 1), la distribution binomiale s'approche de la distribution de Poisson.

Une série de comptages du nombre de particules alpha émises par une source étalon radioactive permettra de comparer les écarts existant entre les résultats de ce comptage et ceux qui sont à prévoir si la probabilité correspond à celle d'une distribution de Poisson.

Dans l'application décrite ci-dessous, le test du chi carré (χ^2) est utilisé pour comparer les écarts existant entre les résultats de « comptages successifs » obtenus avec un compteur de particules alpha et ceux qui sont à prévoir, suivant une distribution de Poisson, lors du comptage alpha. Cette comparaison vise à relever toute incohérence dans ces écarts qui ne serait pas compatible avec la nature aléatoire de la désintégration radioactive. En effet, si les résultats obtenus avec un compteur pour une série de comptages et pour un échantillon radioactif donné (dans des conditions contrôlées) sont trop uniformes, et ne dénotent dès lors que de faibles écarts, il est alors probable que le compteur ne fonctionne pas de façon appropriée. Et il en va de même si ces écarts sont excessifs.

Méthode

Pour vérifier le rendement d'un compteur électronique à l'aide du test du chi carré, il conviendra de procéder de la façon suivante :

a) Effectuer, avec le compteur soumis à l'examen, le comptage de l'activité alpha d'une source d'américium 241 dont le taux de désintégration est connu. Effectuer 10 comptages distincts, d'une durée de 1 minute chacun. Observer et enregistrer le nombre total de coups pour chacun des 10 comptages.

b) Pour calculer le chi carré dans les cas précités :
- effectuer la sommation du carré de l'écart entre les résultats de comptage observés pour les différents intervalles de 1 minute et la moyenne des résultats pour la période totale de comptage de 10 minutes;
- diviser la somme ainsi obtenue par la moyenne des résultats pour la période totale de comptage de 10 minutes afin d'établir le chi carré pour le cas soumis à l'examen.

Le chi carré pourra ainsi être calculé en ayant recours à l'équation suivante :

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2}{\overline{X}}$$

c) Si $3{,}33 \leq \chi^2 \leq 16{,}92$, les résultats obtenus pour le test du chi carré sont uniformes et le compteur fonctionne de façon cohérente.

d) Si $\chi^2 < 3{,}33$ ou $\chi^2 > 16{,}92$, répéter le test du chi carré. Si les résultats obtenus pour ce test se situent toujours à l'extérieur de ces limites, cesser d'utiliser l'instrument jusqu'à ce qu'il ait été réparé.

ANNEXE B
Méthode servant à déterminer les facteurs de correction pour compenser l'absorption de produits de filiation du radon par le filtre d'échantillonnage

Pour compenser les erreurs dues à l'absorption de particules alpha par le filtre en ester cellulosique ou en fibre de verre, un facteur de correction approprié doit être intégré au calcul de la concentration des produits de filiation du radon. Pour déterminer ce facteur de correction, il conviendra de procéder de la façon suivante :

a) Prélever un échantillon de produits de filiation du radon, et le laisser se désintégrer pendant au moins 40 minutes, sans toutefois dépasser 90 minutes.

b) Mesurer et enregistrer l'activité alpha A (en CPM) sur la face exposée du filtre ayant servi au prélèvement de l'échantillon; enregistrer l'heure de l'opération.

c) Mesurer et enregistrer l'activité alpha B (en CPM) sur la face non exposée du filtre ayant servi au prélèvement de l'échantillon; enregistrer l'heure de l'opération.

d) Au moyen d'un filtre identique non exposé, utilisé à titre d'absorbeur, et placé sur la face du filtre ayant servi au prélèvement de l'échantillon, mesurer et enregistrer l'activité alpha C (en CPM); enregistrer l'heure de l'opération.

e) Répéter l'étape *b)* pour obtenir la lecture D (en CPM); enregistrer l'heure de l'opération.

f) Si $D < 0{,}9A$, répéter l'étape *c)* pour obtenir la lecture E (en CPM); enregistrer l'heure de l'opération.

k) Utiliser les lectures A et D pour estimer la lecture F (en CPM) au moment où la lecture C a été obtenue. Utiliser les lectures B et E pour estimer la lecture G au moment où la lecture C a été obtenue.

l) Calculer le facteur de correction pour l'absorption par le filtre S en ayant recours à l'une ou l'autre des équations suivantes :

$$S = \frac{B - C}{2A + B - C}$$

ou

$$S = \frac{G - C}{2F + G + C}$$

Pour un filtre en ester cellulosique, la valeur de S sera probablement inférieure à 0,02 et, pour un filtre en fibre de verre, elle pourrait être supérieure à 0,10.

ANNEXE C

Dépendances entre les paramètres d'échantillonnage des produits de filiation du radon, la concentration d'unités alpha et la précision des résultats du comptage alpha

Les données présentées dans le tableau suivant sont calculées pour un intervalle de temps t_i de 65 minutes entre la fin de l'échantillonnage et le milieu de l'intervalle de temps du comptage alpha. Pour d'autres valeurs de t_i, les données seront proportionnellement différentes.

Concentration anticipée des produits de filiation du radon (en unités alpha)	Débit d'air échantillonné (en L/min)	Volume d'air échantillonné (en L)	Intervalle de temps (en minutes) du comptage alpha pour une précision des résultats de :		
			±2 %	±5 %	±10 %
0,05	2	10	150	30	6
	5	25	60	10	4
	10	50	30	6	2
0,10	2	10	80	20	4
	5	25	30	6	2
	10	50	20	4	1
0,20	2	10	40	6	2
	5	25	20	4	1
	10	50	10	2	1
0,40	2	10	20	4	1
	5	25	10	2	1
	10	50	4	1	1
0,80	2	10	10	2	1
	5	25	4	1	1
	10	50	2	1	1

Note :

Le tableau de la présente annexe illustre les relations caractéristiques entre les paramètres d'échantillonnage des produits de filiation du radon, au nombre desquels figurent la concentration de ces produits dans l'air échantillonné, le débit et le volume d'air échantillonné et la précision des résultats selon l'intervalle de temps retenu pour le comptage alpha du filtre. Ainsi, par exemple, l'intervalle de temps de comptage nécessaire pour obtenir des résultats d'une précision semblable est inversement proportionnel au volume d'air échantillonné et à la concentration des produits de filiation du radon dans l'échantillon d'air. Pour des échantillons plus volumineux mais de concentration identique, un intervalle de temps de comptage alpha plus court suffira pour obtenir des résultats d'une précision semblable. Pour raccourcir l'intervalle de temps de comptage nécessaire pour un filtre exposé à une faible concentration de produits de filiation du radon, il conviendra d'avoir recours à une pompe de plus grande capacité, qui permettra d'échantillonner un plus grand volume d'air pour l'intervalle de temps d'échantillonnage précisé. Ou encore, dans le cas du prélèvement d'un échantillon d'air plus petit comportant une concentration plus faible de produits de filiation du radon, la précision des résultats sera accrue si l'intervalle de temps de comptage est plus long. Lorsque la concentration de produits de filiation du radon est de 0,05 unités alpha ou moins, un intervalle de temps de comptage offrant une précision de ±10 % conviendra. Les références 1 et 2 pourront être consultées pour déterminer les débits d'air appropriés pour l'échantillonnage et les intervalles de temps de comptage efficaces selon l'échantillon.

ANNEXE D

Détermination des facteurs de correction de Kusnetz à employer dans le calcul de la concentration des produits de filiation du radon

Intervalle de temps (en minutes)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Facteur de correction de Kusnetz	150	148	146	144	142	140	138	136	134	132

Intervalle de temps (en minutes)	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Facteur de correction de Kusnetz	130	128	126	124	122	120	118	116	114	112

Intervalle de temps (en minutes)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Facteur de correction de Kusnetz	110	108	106	104	102	100	98	96	94	92

Intervalle de temps (en minutes)	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Facteur de correction de Kusnetz	90	88,5	87	85,5	84	82,5	81	79,5	78	76,5

Intervalle de temps (en minutes)	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Facteur de correction de Kusnetz	75	73,5	72	70,5	69	67,5	66	64,5	63	61,5	60

Note :
Le facteur de correction de Kusnetz peut être obtenu en consultant le tableau de la présente annexe, ou encore calculé en ayant recours à une équation.

Consultation du tableau

Pour l'intervalle de temps donné (en minutes) entre la fin de l'échantillonnage et le milieu de l'intervalle de temps du comptage alpha, utiliser le facteur de correction de Kusnetz qui lui correspond sous la même colonne.

Par exemple :

- Pour un intervalle de temps de 60 minutes, le facteur de correction de Kusnetz s'établit à 110.
- Pour un intervalle de temps de 68 minutes, le facteur de correction de Kusnetz s'établit à 94.

Calcul du facteur de correction de Kusnetz

Calculer le facteur de correction de Kusnetz K en ayant recours à l'une ou l'autre des équations suivantes :

$$K = 230 - 2t_k, \text{ si } 40 \leq t_k \leq 70$$

ou

$$K = 195 - 1{,}5t_k, \text{ si } 70 \leq t_k \leq 90$$

où t_k est l'intervalle de temps (en minutes) qui s'est écoulé entre la fin de l'échantillonnage et le milieu de l'intervalle de temps du comptage alpha.